

V-7 RC柱の耐震設計における帯鉄筋の効果に関する諸問題と将来展望

北海道大学 正員 堺 孝 司

北海道大学 正員 角田 典史雄

1. まえがき 構造物が地震力を受けると、種々の因子の影響の下で非常に複雑な応答をする。構造物の動的解析による応答計算は、設計に必要な情報を得るのに有効な手段であることは言うまでもない。しかしながら、構造物の構成部材あるいは横断面の非線形特性を考慮して実際の応答を予測するのは難しい現状にある。すなわち、これらの基本的な特性そのものが十分明らかになっていないからである。これに対して弾性応答解析は比較的簡単である。しかしながら、構造物の構成部材を弾性応答の結果に基づいて設計するのは経済的でないということが指摘されてきた。弾性応答による慣性力は、構造物の剛性および減衰特性に依存して、作用地震力の何倍にもなるのである。従って、地震によるエネルギーを部材の塑性変形によって吸収させる設計をすることが経済的である。すなわち、強度に加えて靱性 (ductility) をも考慮した構造物設計が必要となる。鉄筋コンクリート (RC) 部材で靱性のある耐荷力特性を得るためには、まずせん断による破壊を防ぐ設計が第一義であり、次により積極的には、十分な帯鉄筋配置によって拘束効果を期待する設計が考えられる。前者は、せん断のための補強鉄筋を考慮するのであるから、適当な靱性を得るためには、軸方向鉄筋比、軸方向圧縮応力度比、および部材形状などに自ずと限界が生ずる。これに対し後者では、帯鉄筋の適当な配置によってコンクリートの特性、従って部材特性を変えようというものであるから、種々の件の下で必要な靱性を得ることができるよう帯鉄筋を配置することになる。このように、両者の物理的意味合いは異なるが、広義には、靱性に対する帯鉄筋の効果と考えることができよう。RCに関する諸外国の設計基準のほとんどは、'strong column - weak beam' なる設計概念を採用している。地震によるエネルギーをはりで吸収しようとするこの考えは、それが確実に実現されるなら合理的であると言える。一般的には、はり柱接合部におけるはりの曲げ強度の和の比に制限をあたえるか、あるいは弾性解析から得られた柱の曲げモーメントを割り増すことによって、この設計概念が具体化されている。ACI 基準(1) では、 $\Sigma M_c \geq (6/5) \Sigma M_g$ を要求している。ここで、 ΣM_c 及び ΣM_g は、それぞれ、柱及びはりの設計曲げ強度の和を表わす。柱での塑性ヒンジ発生を抑えるための係数の大きさについては多くの議論があり、特にPaulay(2) は、不確実な諸因子を考慮すると、この係数として2~2.5が必要であろうことを主張している。構造物の一部の柱が破壊すると、連鎖反応によって構造物全体の崩壊を惹起する可能性があり、実際そのような破壊例がしばしば観察されている。上記設計法の有効性についての議論がまだ存在していることを考慮すると、柱での塑性ヒンジ形成を考えない構造物の設計は、結果的に危険となる可能性がある。更に、破壊に伴う人命の損失などを考慮すると、柱において塑性ヒンジが発生するという前提で設計するのが最終的にはより経済的となり得るのである。また、橋梁構造においては、橋脚付け根部分における塑性ヒンジ発生が最も望ましいものとなる。

RC柱での塑性ヒンジ発生を前提とすると、塑性ヒンジ発生可能領域の横断面には適当な帯鉄筋の配置が必要となる。帯鉄筋の靱性に対する影響についてこれまで多くの研究が行われてきた。諸外国における研究のほとんどがコンクリートの拘束効果の観点からの研究であるのに対して、日本においては、帯鉄筋にせん断補強としての役割を主に期待する研究が多く行われてきた。本論文では、先ず、RC柱における帯鉄筋の拘束効果に関する既往の研究を体系的に概説すると共に、それらとACI基準及びNZ基準(3)の帯鉄筋に関する規定との関連についてのべる。次に、最近、土木学会によって出版されたコンクリート標準示方書(4)の規定についての論評を通して、RC柱の耐震設計に関する将来展望を試みる。

2. 帯鉄筋の拘束効果に関する既往の研究及びACI, NZ基準との関係 帯鉄筋の拘束効果に関する既往の研究は、対象としている問題から、次の3つに分類することができよう：(1) 帯鉄筋によって拘束されたコ

ンクリートの材料特性に関するもの；(2) 部材横断面の特性に関するもの；(3) RC柱の耐荷挙動に関するもの。一般に、円形スパイラルによる拘束が矩形のそれより効果的であることが知られているが、ここでは主に矩形の柱に関するものが扱われる。なお、紙数の制限から、既往の研究の個々の論文を参照して議論することはできない。詳しくは、文献(5)を参照されたい。

2. 1 材料特性 RC柱の耐荷挙動を知るには、コンクリートに関する基本的な力学的特性が必要となる。帯鉄筋を有する柱のコンクリートは、かぶりコンクリートとコアコンクリートとから成っている。かぶりコンクリートの耐荷挙動は、かぶり厚さおよび帯鉄筋間隔によって影響されるので、コンクリートの円柱強度あるいは角柱強度とは異なる。一方、帯鉄筋の拘束によって、コアコンクリートの強度と靱性が改善される。それらは拘束の程度に応じて異なる。すなわち、拘束コンクリートの応力-ひずみ関係は多くの変数の関数である。従って、研究者の主な関心は、各種因子の影響を調べると共に、拘束コンクリートの応力-ひずみ曲線に関する解析モデルを提案することであった。既往の研究で考慮された主な因子は次の通りである：(1) コンクリートの種類と強度（普通、軽量、及び高強度コンクリート）；(2) 軸鉄筋量及びその分布；(3) 帯鉄筋量、間隔およびその分布；(4) 拘束コンクリートの寸法および形状；(5) 全横断面積に対する拘束面積の比；(6) ひずみ速度；(7) ひずみ勾配；(8) 補助帯鉄筋；(9) 繰返し載荷；(10) 帯鉄筋の特性。これらの影響について多くの研究が行なわれてきたにも拘らず、定性的にはともかく定量的にはなお多くの問題を残している。

現在 ACI基準には、耐震規定としての帯鉄筋の算定式が与えられている。これらの式は、1920年代後半に行なわれたコンクリートの拘束に関する実験結果に基づいている。すなわち、拘束効果によるコンクリートの強度増加を基にして、柱におけるかぶりコンクリートの剥落後も軸圧縮耐荷力が保持されるべきであるという考えから導出されたものである。しかしながら、円形スパイラルの算定式と矩形帯鉄筋の算定式の間には、帯鉄筋の効率について説明のできない差異が存在する。更に、かぶりコンクリート剥落後に剥落前の横断面積に対する強度を保持するという考えは、曲げと軸力を受けるRC柱横断面の靱性に直接関係しないことは明らかである。基準における規定としては、理想的には、所定の曲率靱性を得るのに必要な帯鉄筋量に関する算定式が与えられるべきである。後述されるNZ基準では、基本的には ACI式に基づいているが、曲率靱性を考慮にいたした軸荷重レベルの影響を含む帯鉄筋量算定式が与えられている。

2. 2 横断面特性 コンクリートと鉄筋の材料特性に基づいて、横断面の曲げ強度、軸荷重強度、およびモーメント・曲率関係を算定することができる。これらは、RC柱を強度と靱性に対して設計する上で重要な役割を果たす。

ACI基準に従えば、 0.003 の圧縮縁ひずみと $0.85f_c$ の一樣応力を有する圧縮応力ブロックと鉄筋の完全弾塑性の仮定に基づいて曲げ強度を算定することができる。多くの基準で同様な方法が採用されている。しかしながら、実際には、帯鉄筋によるコンクリートの拘束は一般に強度と靱性を増加させるし、鉄筋は通常ひずみ硬化によって降伏応力以上の強度を有している。帯鉄筋の拘束によるコンクリートの強度増加は、断面の曲げ強度に大きく影響する。特に、十分な帯鉄筋が配置された柱において、作用軸力が大きい場合、著しい曲げ強度の増加のあることが観察されている。従って、帯鉄筋量及びその配置状態に応じた正確な曲げ強度の算定が、断面強度の検討及び曲率靱性あるいは変位靱性の評価には勿論、場合によってはせん断に対する柱の設計にとって重要となる。

ACI基準及びNZ基準では、予期しない偏心荷重の作用及び耐震上の問題から、横断面の設計軸荷重に上限を設けており、軸鉄筋比に依存してかなり高レベルの軸荷重を許している。

曲げと軸力の作用を受けるRC柱横断面の耐荷特性は、モーメント・曲率関係によって表わすことができる。一般に、曲率靱性は、モーメント・曲率関係における降伏時の曲率と終局曲率との比によって表示される。

拘束コンクリート部材に関するモーメント・曲率関係の初期の研究は主としてはりとその対象であったが、1972年、Parkら(6)はRC柱に関して耐震設計のための包括的な考えを示した。そこではまず、構造物の靱性

指標としての変位靱性と、横断面の靱性指標としての曲率靱性との違いを明確に説明し、設計基準において部材に必要な曲率靱性の大きさに関する考慮がなされてこなかったことを指摘すると共に、具体的には、耐震に必要な曲率靱性として少なくとも15は必要であるとした。その際、終局曲率として、最大モーメントの80-90%に低減したときのモーメントに対応する曲率が考えられている。以上のような柱の靱性に関する理解に基づいて、耐震設計で柱に必要な帯鉄筋量評価のためのモーメント・曲率解析を行なった。その解析結果から、ACI及びSEAOCで規定されている帯鉄筋量は、軸力レベルが低い場合には多過ぎるし、軸力レベルが高い場合には十分でない、という結論を導いている。現在のNZ基準における帯鉄筋量算定式は、これらの結果に基づいて、軸力の影響を考慮するためにSEAOC式(ACI式と同じ)が修正されたものである。しかしながら、その基準式の導出の具体的な手順は明らかにされていない。更に、モーメント・曲率解析で用いた拘束コンクリートの応力-ひずみ関係は、小さな供試体の実験結果に基づいており、拘束によるコンクリートの強度増加が考慮されていなかった。NZ基準の帯鉄筋量算定式は、作用軸力の増加とともに帯鉄筋量を増加させるということでACI基準より優れていると言えるが、定量的には更に検討する必要があることがその後の研究で明らかにされている。また、帯鉄筋の配置形状などのような他の影響因子に関する検討も必要である。基本的には、帯鉄筋量は靱性の関数であるべきであり、少なくとも基準で与えられる式は、あるレベルの曲率靱性を保証するものでなければならない。ACI基準及びNZ基準では、それらの式を用いることによって保証される靱性について一切説明がない。

上記の研究に加えて、これまで、モーメント・曲率関係に関する解析的および実験的研究が数多く行なわれてきた。モーメント・曲率解析に関する既往の研究は、以下の三つの範疇に分けることができる：(1) 曲げと軸力を受ける柱横断面に関して、拘束コンクリートの応力-ひずみ曲線の有効性を実験データとの比較によって検討、あるいは新しく得られた実験データを用い既往のモデルを評価；(2) モーメント・曲率関係に対する種々の変数の影響の検討；(3) パラメトリックな計算による設計チャートの作成。Sheikhら(7)は、ひずみ勾配の影響を考慮したSheikh and Uzumeriモデル(拘束効果によるコンクリートの強度増加の影響を含む)を用いたモーメント・曲率解析に基づいて、ACI基準の要求は、適切な配置の帯鉄筋を有する柱に関しては安全すぎるが、単一フープを持ち、隅角部のみに配置された軸鉄筋を有する柱には危険であることを示した。柱のモーメント・曲率関係は帯鉄筋量、その分布形状、および軸荷重レベルに大きく依存することが上記の解析的研究によって示されているが、既往の実験的研究のほとんどが比較的低軸応力下で行なわれてきた。最近、Sheikhら(8)は高軸応力下での実験を行ない、90°フックを有する補助帯鉄筋の使用可能性および帯鉄筋の配置形状の重要性についていくつかの新知見を得ている。実験では、曲げと軸力を受ける柱横断面の靱性と強度の有効性についての限界を明らかにするために、比較的極端な軸荷重レベル及び帯鉄筋比が考慮されている。柱横断面の曲率靱性の評価に基づく合理的な帯鉄筋量の算定式を確立するためには、広範囲な実験的検討が必要であることをこの研究は示した。

2.3 RC柱の耐荷挙動 RC柱の耐荷挙動を評価する指標として、通常変位靱性が用いられる。変位靱性は、柱部材の降伏時の変位と終局変位との比によって表わすことができる。曲率靱性と変位靱性の間の関係は、塑性ヒンジ長を適当に仮定して、容易に導くことができる。変位靱性係数は、弾性応答慣性力より小さな荷重が設計で用いられる柱の塑性変位を評価する一つの指標である。すなわち、静的設計荷重と弾性応答慣性力との間の関係から、変位靱性係数が決定される。弾性応答慣性力は多くの変数の影響を受けるので、変位靱性係数に関する一般的な結論を導くのは難しいが、例えば、最大変位が等しいという仮定をし、弾性応答荷重に対する設計荷重の比を x とすれば、変位靱性係数は $1/x$ となる。

材料および横断面特性に関する研究の当然の延長として、RC柱の部材としての一般的な挙動に関する研究が行なわれるようになってきた。これらの実験的研究においては、比較的大きな供試体が用いられており、そのほとんどが交番繰返し荷重を作用させている。これらの研究で扱っている問題は、基準式あるいはその改良式に従って設計した場合に得られる靱性の評価、中空横断面を有するRC柱の挙動、作用荷重の方向、

90° フックを含む補助帯鉄筋の有効性、軽量コンクリートの場合の現在の基準式への適用性、帯鉄筋の分布および形状、軸荷重レベルなどである。これらの研究は、対象とした問題について様々な情報を提供してくれているが、設計基準の確立を目指した研究は見当らない。

塑性ヒンジ長は、RC柱の拘束帯鉄筋の配置に直接関係する。RC柱では、一般に、実験で測定した曲率分布とたわみに基づいた等価塑性ヒンジ長で評価される。従って、等価塑性ヒンジ長には、他の接合部材からの軸鉄筋の抜け出しおよびせん断ひびわれの影響を含んでいる。基本的には、靱性に対するこれらの影響を正確に把握する必要がある。ACI基準では、塑性ヒンジ領域として、(1) 横断面寸法、(2) 部材純スパンの $1/6$ 、(3) 18in. 以上とすることを規定している。一方、NZ基準では、軸方向圧縮応力度比が 0.3 以下の場合、(1) 横断面寸法、(2) 部材端においてモーメントが最大モーメントの 0.8 倍を越える長さ以上、また軸方向圧縮応力度比が 0.3 以上の場合、(1) 横断面寸法の 1.5 倍の長さ、(2) 部材端においてモーメントが最大モーメントの 0.7 倍を越える長さ以上、となっている。NZ基準で特に注目すべきは、軸荷重レベルが高い場合、曲げ強度の増加による塑性ヒンジの広がりを考慮して、拘束領域を割り増していることである。

RC柱における軸鉄筋の座屈は急激な耐力の低下を惹起するので好ましくない。帯鉄筋に支えられ、かつ繰り返り交番荷重を受ける軸鉄筋の耐荷挙動は複雑であるが、最近、問題の糸口をつかむ研究が行なわれ始めている。更なる理論的および実験的研究が必要である。

フーチングあるいはスラブのすぐ上でRC柱の軸鉄筋を重ね継ぐことは、実際の配筋上有利である。しかしながら、多くの基準では、塑性ヒンジ発生可能領域での重ね継手を認めていない。塑性ヒンジ領域での重ね継手に肯定的な研究もあるが、Paulay(9) は、過度な帯鉄筋を配置すれば塑性ヒンジを発生させることができるが、軸鉄筋の降伏が非常に狭い領域に限定され、その結果極端に大きな鉄筋ひずみが生じ、局所的な座屈、また場合によっては軸鉄筋の破断をも引き起こすので、重ね継手は柱の塑性ヒンジ発生領域に用いるべきでない、との見解を示している。

3. 土木学会コンクリート標準示方書における耐震設計規定について 昭和61年制定コンクリート標準示方書では、耐震設計に関する規定が設けられている。耐震設計の原則として、地震時の安全性および地震後に要求される構造物の共用性能が考慮されねばならない、とされている。具体的には、構造物が地震時に生じる最大応答変位と被害の程度の一般的な関係を設定し、設計想定地震時における構造物の限界状態、すなわち、損傷の許容限度から地震力が決定される。この設計法では、構造物のDuctility Demandが地震後の構造物の使用性に基づいて決定される、という意味において斬新な方法と言える。NZのBerrillら(10) も、Ductility Demandの関数として地震力を決定する方法を提案しているが、構造物の損傷の程度とDuctility Demand との関係を明示するには至っていない。一般に、設計地震力は、必要なDuctility Capacity が得られる限り、いくらかでも小さくすることができる。しかしながら、この結果、地震後の大きな残留変形によって共用性能に問題が生じては困るのである。従って、地震時の最大応答変位と地震後の使用性との関係を明らかにすることが最も重要であるが、同時にこれが最も難しい点でもある。同示方書では、これらの関係として、健全維持 $=1\delta y$ 、軽微な損傷 $=2\delta y$ 、中程度の損傷 $=3\delta y$ 、かなりの損傷 $=4\delta y$ を与えている。これらは、過去における被災例や実験の結果などを参照して分類されたとのことである。また、同示方書では、一般の土木構造物の場合には軽微な損傷以下とすることを求めている。しかしながら、拘束効果を期待して適切に配置された帯鉄筋を有する柱の降伏荷重は、その最大荷重よりかなり小さくなる場合が考えられる。このような場合、 $2\delta y$ が合理的なものであるかどうか議論のあるところである。

さて、同示方書では、損傷の程度は、具体的には設計水平震度を算定する際の補正係数によって考慮される。耐震設計の手順は、まず、許容する損傷の程度に基づいて補正係数を選択し、地震力を決定する。次に、その地震力を作用させた構造解析から、構造物の各構成部材の断面設計を行なう。構造物には、設定されたDuctility Demand以上のDuctility Capacityが必要となることは言うまでもない。また、同示方書では、想定した地震を上回る規模の地震が発生した場合にも、適切な構造細目によって、十分な塑性変形の確保を要

求している。Ductility Capacityは、本来、種々の影響因子の関数で表わされるべきである。町田ら(11)は、引張鉄筋比、帯鉄筋比、せん断スパン比、軸方向圧縮応力度、コンクリート強度、粗骨材の最大寸法、及び載荷繰り返し回数を変数とする塑性変形能算定式を提案している。しかしながら、軸圧縮応力度比が $0 \sim 0.092$ と非常に低い範囲（一般的な土木構造物で想定される範囲とのことである）であること、軸鉄筋が断面隅角部のみに配置されたこと、帯鉄筋が軸鉄筋を囲む単一フープのみであること、帯鉄筋間隔の影響が考慮されていないこと、等の観点から更なるデータの蓄積が必要であると思われる。

NZ基準では、部材接合部の柱における帯鉄筋の最大間隔として、最小部材寸法の $1/5$ 、軸鉄筋径の6倍、あるいは200mm以下にすることを要求している。これらは、帯鉄筋の拘束効果と軸鉄筋座屈防止の観点からの規定である。同様に、ACI基準では、最小部材寸法の $1/4$ あるいは4in.以下と規定されている。一方、コンクリート標準示方書では、部材最小寸法の $1/4$ 以下と規定されている。しかしながら、その理由として、部材接合部は軸方向鉄筋が降伏した後に斜めひびわれが発生する可能性が高いため、この部分のせん断耐力の増加をはかるためとされているのである。

一般に、RC部材のせん断に対する設計は、コンクリートの分担する耐力とせん断補強鉄筋（帯鉄筋）の分担する耐力に基づいて行なわれる。従って、部材断面を大きくすることによって、コンクリートにせん断力のほとんどを分担させる設計をすることができる。しかしながら、コンクリートに大きなせん断力を負担させる設計をすると、予期しない大きな地震力が作用した場合、ぜい性的な破壊の生じる可能性があり、耐震上好ましくない。従って、設計地震力を上回る力が作用しても、曲げ支配型の耐荷挙動が得られるように帯鉄筋を適切に配置する必要がある。コンクリート標準示方書では、耐震上重要な柱で0.2%以上の帯鉄筋を配置することになっている。しかしながら、ここでは、帯鉄筋の降伏応力を $3000\text{kg}/\text{cm}^2$ とした場合、0.2%の帯鉄筋比に対して、帯鉄筋のみで抵抗するせん断応力度が $6\text{kg}/\text{cm}^2$ となり、これが最小腹部補強量として妥当である、というのがその論拠となっており、その意味するところがいささか明瞭さに欠けている。

図1(a)及び(b)は、コンクリート標準示方書とACI基準およびNZ基準による矩形帯鉄筋比に関する比較の例を示す。変数として、軸圧縮応力度比と作用せん断応力を考慮した。同示方書の規定に基づく鉄筋比の算定では、軸方向圧縮応力度比が0.24のとき β_n が2となるように設計曲げモーメントを仮定した。また、コンクリートの設計圧縮強度 $=250\text{kg}/\text{cm}^2$ 、鉄筋の設計引張強度 $=3500\text{kg}/\text{cm}^2$ 、柱の引張鉄筋比 $=1\%$ 、 $b_w/h = 80\text{cm}/70\text{cm}$ 、引張鉄筋の有効深さ $=74\text{cm}$ が用いられた。ACI基準とNZ基準では、せん断から決まる鉄筋と拘束効果から決まる鉄筋に関する規定がある。NZ基準における拘束効果の観点からの規定では、軸方向圧縮応力度比の増加とともに、帯鉄筋比を増加させることを要求している。これは、軸方向圧縮応力度比が増加すると、柱横断面の中立軸深さが増大し、従って柱の曲げ強度および変形特性がコンクリートの圧縮応力特性に依存することになり、軸力の大きな場合にコンクリートの強度と靱性を確保するためにはより多くの帯鉄筋が必要となるためである。絶対値の評価については議論のあるところであるが、考え方は合理的である。これに対して、同示方書では、土木構造物を対象（軸方向圧縮応力度比の上限として0.25が想定されている）としているということで、拘束効果に関する配慮がなされていない。しかしながら、同示方書改訂資料(12)では、軸方向圧縮応力度比が0.25を越える場合、コンクリート断面を拘束する鉄筋の配置の必要性を指摘している。土木構造物の柱で軸圧縮応力度比が一般的に小さいのは、地震力によるせん断力の多くをコンクリートで分担させるという伝統的な設計法から、結果的に柱横断面が大きくなるためであると思われる。しかしながら、靱性を考慮した設計法を採用するのであれば、このような設計は必ずしも合理的であるといえないし、前述したように、予期しないより大きな地震力が作用した場合に不都合が生じることもある。図から、必要帯鉄筋比に関する上記三つの基準の間にはかなり大きな違いのあることがわかる。

4. あとがき 以上、RC柱の耐震設計における帯鉄筋の効果に関する諸問題とその背景について述べた。今後検討すべき事項は多いが、まず、現在のコンクリート標準示方書に従って設計したRC柱についての実験的検証が必要であろう。その際、慣用の横断面寸法および配筋方法に拘束されることなく、様々な場合

についての検討をすることが肝要である。更に、より合理的な設計法の確立のために、RC柱の耐荷挙動における Ductility Capacity に対する諸因子の影響を系統的に明らかにするための基礎的な研究が必要である。最終的には、これらの結果に基づいて、Ductility Capacity の関数としての帯鉄筋量に関する設計式の導入あるいは構造細目の決定をしなければならない。なお一層のデータ蓄積が望まれる。

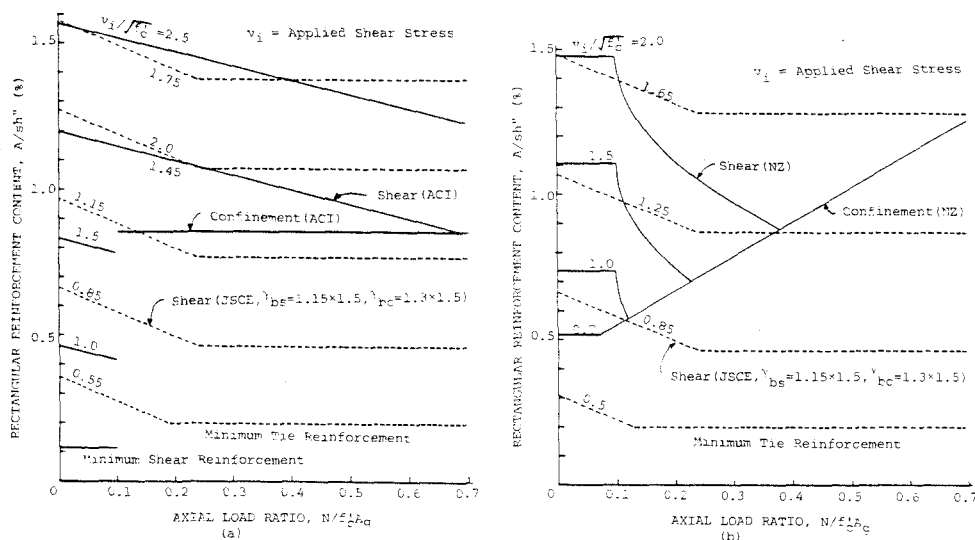


Fig.1 Shear and Confinement Requirement in Codes

(参考文献)

- (1) "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-83)," ACI Committee, American Concrete Institute, Detroit, 1983, 111pp.
- (2) Paulay, T., "A Critique of the Special Provisions for Seismic Design of the Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-83)," ACI Journal, Proceedings Vol.83, No.2, Mar.-Apr. 1986, pp.274-283.
- (3) "Code of Practice for the Design of Concrete Structures (NZS 3101:1982)," Standards Association of New Zealand, Wellington, 1982, Part 1, 127pp., and Part 2, 156pp.
- (4) "コンクリート標準示方書 (昭和61年制定):設計編," 土木学会, 200pp.
- (5) Sakai, K. and Sheikh, S. A., "A State-of-The-Art Report on Confinement in Reinforced Concrete Columns," Research Report No.UHCE-87-7, Department of Civil Engineering, University of Houston, 1987, 74pp.
- (6) Park, R. and Sampson, R. A., "Ductility of Reinforced Concrete Column Sections in Seismic Design," ACI Journal, Proceedings Vol.69, No.9, Sep. 1972, pp.543-551.
- (7) Sheikh, S. A. and Yeh, C. C., "Flexural Behavior of Confined Concrete Columns," ACI Journal, Proceedings Vol.83, No.3, May-June 1986, pp.389-404.
- (8) Sheikh, S. A., Yeh, C. C. and Menzies, D., "Confined Concrete Columns," Proceedings, Pacific Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, Vol.1, Aug. 1987, pp.177-188.
- (9) Paulay, T., "Lapped Splices in Earthquake-Resisting Columns," ACI Journal, Proceedings Vol.79, No.5, Nov.-Dec.1982, pp.458-469.
- (10) Berrill, J. B., Priestley, M. J. N. and Peek, R., "Further Comments on Seismic Design Loads for Bridges," Bull. NZNSEE, Vol.14, No.1, Mar. 1981, pp.3-11.
- (11) 町田篤彦, 睦好宏史, 豊田和彦, "鉄筋コンクリート部材の塑性変形能定量化に関する研究," 土木学会論文集, 第378号/V-6, 1987, pp.203-212.
- (12) "コンクリート標準示方書 (昭和61年制定) 改訂資料," コンクリート・ライブラリー, 第61号, pp.271.